

Conception des élèves de collègue sur la lumière et les phénomènes de couleur

COMPARAISON DES EPISTEMOLOGIES HISTORIQUE ET GENETIQUE

par C. PRAT - 38 Seyssins.

Introduction.

Ce texte est issu d'un mémoire de D.E.A., et a servi de base à une intervention en C.P.R., à la demande de l'I.P.R.

I. EVOLUTION HISTORIQUE

1) ANTIQUITE.

En optique, le seul problème vraiment étudié par les écoles grecques est celui de la vision.

a) Les atomistes (Lucrèce - 60 av. J.-C.).

L'Univers est constitué « d'unités matérielles indivisibles » décrivant des tourbillons : *les atomes*. Ces atomes peuvent s'unir pour donner les quatre éléments constituant le monde : la terre, l'eau, l'air, le feu.

— Certaines particules, *les eidolas* s'échappent des corps, s'élançant dans l'air en conservant leur forme, entrent en nous, en reproduisant les objets extérieurs sous des grandeurs proportionnellement réduites et causent la vue.

— Egalité entre les angles d'incidence et de réflexion sur un miroir.

b) Euclide (III^e siècle av. J.-C.) et les pythagoriciens.

— Il faut que notre regard tombe sur l'objet pour le voir : la vue est constituée par *un QUID* allant de l'œil à l'objet.

— Notions de rayons visuels (rayons lumineux), qui se propagent en ligne droite : naissance de l'optique géométrique.

c) Empedocle (440 av. J.-C.).

Le feu qui jaillit de l'intérieur des yeux rencontre et choque celui qui provient des objets extérieurs. Il se forme ainsi un

ensemble qui transmet les mouvements jusqu'à l'âme et apporte cette sensation grâce à laquelle nous disons que nous voyons.

d) **Aristote** (384-322 av. J.-C.).

Nous ne voyons pas la nuit, donc l'œil n'émet pas de quid.

« Il vaut mieux convenir que la sensation naît du mouvement excité par le corps sensible dans le milieu intermédiaire... » L'œil, placé dans le vide, ne verrait pas.

e) **Galien** (131-201).

Il découvre le nerf optique, il imagine qu'il permet à un fluide visuel, envoyé de l'encéphale, de se répandre sur le cristallin le rendant apte à être impressionné par la lumière.

2) LE MONDE ARABE.

IBN-AL-HAITHAM (965-1039) est plus connu en occident sous le nom d'ALHAZEN. Il rejette l'hypothèse « *quid* » (la lumière fait mal aux yeux), et celle des *eidolas*.

« La vision se fait par des rayons venant de l'objet à l'œil. De tout corps illuminé par n'importe quelle lumière, part de la lumière dans toutes les directions. Quand l'œil sera placé face à un objet ainsi illuminé, il arrivera de la lumière à sa surface extérieure... ».

La lumière et les couleurs se propagent de chaque point de l'objet jusqu'à l'œil, de manière régulière le long des rayons. Ces rayons forment une image dans l'œil.

La lumière est matérielle et se propage avec une très grande vitesse : ceci répond à un modèle mécanique simple.

3) LE MOYEN AGE CHRETIEN.

— Le Roman de la Rose (environ 1275), témoigne que les travaux d'ALHAZEN étaient connus en Occident.

— Les « lunettes » (lentilles de verre) étaient connues depuis le XI^e siècle dans tout le monde.

Robert GROSSE TÊTE (1168-1253) les étudie, et voit le développement possible de leur utilisation.

Roger BACON (1214-1294) prévoit des observations du soleil, de la lune, des étoiles, au moyen d'instruments d'optique. Il étudie entre autre les couleurs de l'arc-en-ciel, dont Thierry DE FREIBERG (BLAIN l'appelle Dietrich DE FREIBERG) (vers 1300), donne une première explication :

BACON avait observé que le rouge de l'arc-en-ciel s'observe dans une direction d'environ 42° par rapport à la direction soleil-œil.

Thierry DE FREIBERG constate que, une fiole, tenue à bout de bras dans la même direction, paraît rouge. En descendant un peu la fiole, elle paraît successivement orange, jaune, verte, bleu et violette. Ce phénomène est dû à des réflexions et réfractions successives des rayons du soleil dans la fiole (ou des gouttes d'eau). Les différentes couleurs correspondent à des angles de réfraction différents.

Thierry DE FREIBERG explique les couleurs par le mélange de deux quantités opposées : *l'éclat* et *l'obscurité*. En proportions égales, elles donnent la lumière blanche. Plus une couleur est déviée dans la réfraction, plus elle possède d'obscurité.

4) LA RENAISSANCE.

Johan KEPLER (1571-1630), délaissant les idées d'ARISTOTE enseignées alors, lit les œuvres d'IBN-AL-HAITHAM, GROSSE TÊTE et Thierry DE FREIBERG, et reprend les idées suivantes :

- a) La lumière peut émaner ou être projetée de sa source vers un lieu lointain.
- b) Le flux de la lumière arrive d'un point quelconque suivant un nombre infini de droites.
- c) La lumière peut se propager jusqu'à l'infini.
- d) Les lignes de cette émission sont des droites nommées rayons.

KEPLER s'aperçoit que, dans l'œil, l'image se forme sur la rétine. Il définit l'image rétinienne, inversée par rapport à l'objet vu. KEPLER pense que la vitesse de la lumière est infinie.

— 1609 : la lunette de GALILÉE... qui se bat comme on sait, pour imposer le système copernicien.

5) DESCARTES.

Dans « la Dioptrique » (1637), DESCARTES étudie réflexion et réfraction, et reprend le problème des couleurs. Il étudie tous ces phénomènes faisant apparaître les couleurs (arc-en-ciel, prisme, glace biseautée...). Les couleurs différentes correspondent à des angles de réfraction différents.

DESCARTES considère la flamme comme formée de très petites particules invisibles, animées d'un mouvement très rapide et très violent « c'est ce mouvement seul qui, selon les différents effets qu'il produit, s'appelle tantôt chaleur, tantôt lumière ».

L'Univers est formé de trois éléments :

Terre — Air subtil — Feu.

Les sphères d'air subtil, toutes identiques, sont au contact les unes des autres et en mouvement circulaire uniforme : elles forment des *tourbillons*. Une pression se communique du centre du tourbillon vers la périphérie, elle se transmet selon des rayons. Cette pression peut se communiquer aux yeux, passe dans les humeurs qu'ils renferment, arrive au nerf optique, est transmise par son intermédiaire au cerveau où elle est interprétée par l'âme.

Lors d'une réfraction, la lumière subit « un changement semblable à celui que reçoit le mouvement d'une balle quand on la frise... ». Si le tournoiement est faible, on obtient le rouge, s'il est plus fort, on obtient le bleu.

Les couleurs ne composent donc pas la lumière incidente, mais sont dues à l'action mécanique des surfaces.

Pour DESCARTES, la propagation de la lumière est instantanée, il ne peut en faire qu'un *état* dont sont baignés nos yeux. Mais les chats voient la nuit, il faut donc que chez eux, la vision résulte aussi de quelque chose qui part des yeux et se dirige vers les objets. Les QUID antiques ressurent ici.

6) GRIMALDI.

En 1663, GRIMALDI reconnaît que l'on ignore la nature et la consistance de la lumière. GRIMALDI réalise la première expérience de *diffraction*, et obtient ainsi *des franges colorées*.

Il envisage pour la lumière, soit une nature ondulatoire, soit une nature matérielle (corpusculaire). Ces deux hypothèses ne le satisfaisant pas, il en déduit que la lumière est un fluide très subtil, pouvant être doué de mouvements locaux. La lumière étant la seule entité systématiquement présente dans les expériences faisant apparaître les couleurs. *Elle contient les couleurs*. Celles-ci sont dues aux vibrations accompagnant le fluide.

Pour GRIMALDI, la lumière se déplace à très grande vitesse.

En 1676, ROMER mesure par une méthode astronomique, la vitesse de la lumière : 350 000 km/s. Ce résultat permet de rejeter définitivement toute théorie faisant de la lumière, un état.

A cette époque-ci, HOOKE écrit : « il y a deux couleurs fondamentales, la rouge et la bleue, toutes les autres sont un mélange de ces dernières.

7) NEWTON.

En projetant une lumière monochromatique sur un prisme, NEWTON montre que les couleurs ne sont pas un effet des surfaces traversées par la lumière, comme le pensait DESCARTES.

En regroupant tous les faisceaux colorés dispersés par un prisme, et un même point, NEWTON reconstitue une lumière blanche. Les couleurs font donc partie de la lumière solaire, qui est composée de sept couleurs élémentaires auxquelles correspondent, dans un milieu donné, des indices de réfraction propres.

Dans son traité d'optique, NEWTON postule : « La lumière est formée de corpuscules qui se propagent à une vitesse énorme ». Pour cela, il faut nécessairement que tous les corps soient formés de parties non jointives. Puisqu'il existe sept couleurs, il doit exister sept sortes de particules de masses différentes. Celles donnant la sensation violette, plus déviées, ont une masse plus faible.

En cherchant à expliquer les irisations des bulles de savon, NEWTON obtient ces fameux « anneaux ». Ceci lui permet d'affirmer qu'il existe, dans le comportement de la lumière, une périodicité caractéristique de chaque couleur.

En tombant sur la rétine, les particules de lumière engendrent au sein de l'ÉTHER (qui emplit tout l'Univers) présent dans l'œil et dans le nerf optique, *des vibrations* : aux corpuscules de masses différentes correspondent des vibrations de longueurs différentes.

8) HUYGENS.

HUYGENS prône une théorie *ondulatoire* de la lumière, qui explique nombre de phénomènes observés et s'oppose à la théorie de NEWTON.

9) LE XVIII^e SIECLE.

HALL (1723) et EULER (1747) démontrent indépendamment que la déviation des rayons lumineux de différentes couleurs n'est pas proportionnelle à l'indice de réfraction. Ceci contredit la théorie corpusculaire de NEWTON, et amène EULER à énoncer : Les couleurs sont dues à des ondulations de longueurs d'ondes différentes.

10) YOUNG - FRESNEL.

Les expériences de YOUNG (interférences) l'amènent à la conclusion, publiée en 1804, que la lumière est composée d'ondes qui se propagent dans l'éther à la vitesse de 300 000 km/s. La vitesse de propagation est inversement proportionnelle à l'indice de réfraction. Les couleurs sont des sensations produites par les longueurs d'ondes différentes (700 nm pour le rouge, 400 nm pour le violet).

FRESNEL porte encore un coup à la conception corpusculaire de la lumière, en expliquant en 1819 tous les effets lumineux, en considérant la lumière comme une vibration générale de l'éther, produite par les oscillations régulières des molécules d'une source. Les vibrations sont alors longitudinales.

En 1821, FRESNEL, pour résoudre le problème de la polarisation, admet la transversalité des ondes lumineuses.

11) MAXWELL.

En 1855, il démontre que toutes les nuances peuvent s'obtenir à partir du mélange de bleu, de vert et de rouge (les fondamentales), et que le *daltonisme* résulte de la mauvaise perception d'une ou deux de ces couleurs.

MAXWELL, grâce à ces « équations », calcule la vitesse de propagation d'une perturbation électromagnétique : la même que celle admise pour la lumière. De plus, il démontre la transversalité de l'onde électromagnétique. Ceci l'amène en 1864, à admettre que les ondes lumineuses ou électromagnétiques sont de même nature.

Les conclusions de MAXWELL, sont confirmées en 1885 par HERTZ qui étudie les ondes... hertiennes.

En 1895, RÖNTGEN découvre les rayons X.

12) LE XX^e SIECLE.

A la fin du XIX^e siècle, Lord KELVIN, reflétant l'état d'esprit général, affirmait :

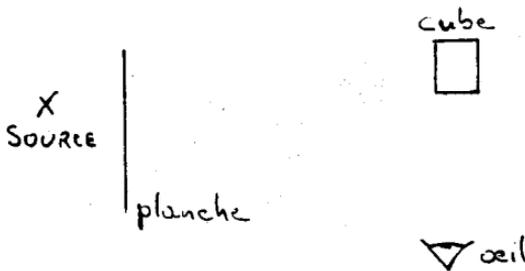
« La physique est définitivement constituée dans ses concepts fondamentaux. Tout ce qu'elle peut désormais apporter, c'est la détermination précise de quelques décimales supplémentaires. Il y a bien deux petits problèmes : celui du résultat négatif de l'expérience de MICHELSON (absence de l'éther), et celui du corps noir, mais ils seront rapidement résolus et n'altèrent en rien notre confiance ».

L'expérience de MICHELSON débouchera sur la *relativité d'Einstein*.

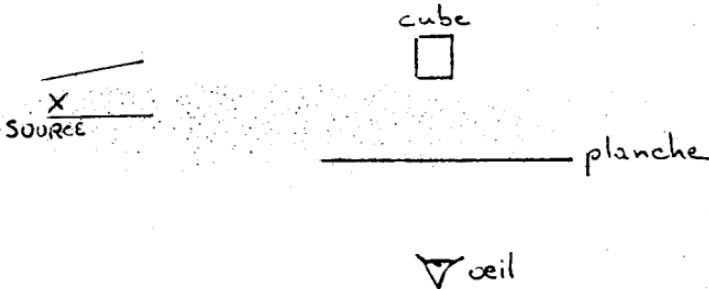
Le problème du corps noir donnera naissance à la *mécanique quantique*.

II. QUESTIONNAIRE DE 5^e ET 4^e

- 1) *Qu'est-ce que la lumière pour toi ?*
- 2) *Qu'est-ce qui te permet de voir la boîte qui est sur le bureau ?*
- 3) a) *Quelle est la couleur du liquide n° 1 ?*
(Ballon de sulfate de cuivre).
b) *Pourquoi dis-tu qu'il est de cette couleur ?*
- 4) a) *Quelle est la couleur du liquide n° 2 ?*
b) *Pourquoi dis-tu qu'il est de cette couleur ?*
(Ballon plein d'eau).
- 5) *Peux-tu voir maintenant le cube ?*
Pourquoi ?



- 6) *Peux-tu voir maintenant le cube ?*
Pourquoi ?



7) De quelle couleur vois-tu cette feuille de papier ?

Pourquoi ?

_____ feuille "blanche"



▽ œil

8) De quelle couleur vois-tu la feuille de papier ?

Pourquoi ?

_____ feuille "blanche"

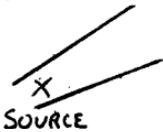


▽ œil

9) De quelle couleur vois-tu la feuille de papier ?

Pourquoi ?

_____ feuille "blanche"



----- filtre bleu

▽ œil

10) De quelle couleur vois-tu la feuille de papier ?

Pourquoi ?

_____ feuille "bleue"



▽ œil

11) De quelle couleur vois-tu la feuille de papier ?

Pourquoi ?

_____ feuille "rouge"

----- filtre bleu



▽ œil

12) De quelle couleur vois-tu la feuille de papier ?

Pourquoi ?

_____ feuille "rouge"

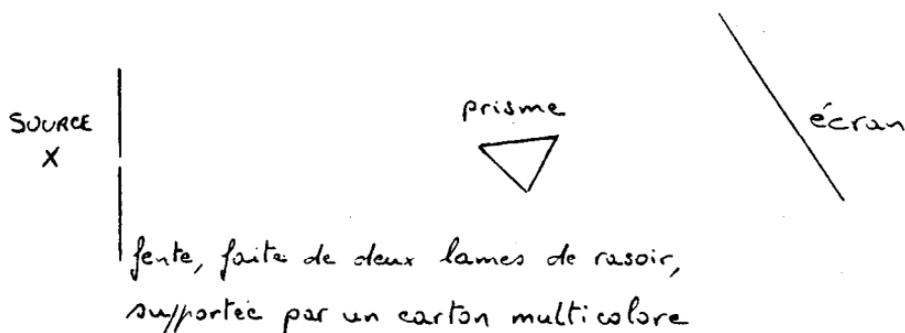
----- plastique transparent

X
SOURCE

▽ œil

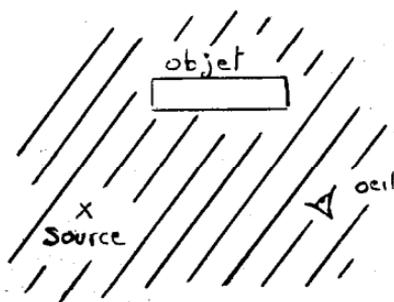
13) Tu as déjà dû voir un « arc-en-ciel » (lorsqu'il pleut et fait soleil en même temps par exemple). Comment peux-tu expliquer ce phénomène ?

14) Comment peux-tu expliquer l'expérience qui t'est présentée ?



III. CONCEPTIONS DES ELEVES SUR LA LUMIERE ET LA VISION

1)



Le premier modèle est celui du bain de lumière.

(5) Peux-tu voir maintenant le cube ? Pourquoi ?
(lorsque la pièce est « dans l'obscurité » !)

Tony : 12 ans, 6^e,

Non, parce qu'on est dans l'obscurité, et on ne peut pas le voir *dans* le noir.

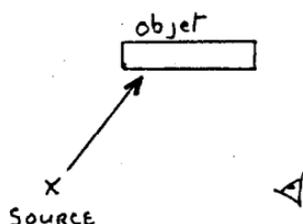
A la même question que la précédente, mais dans le cas (6) où une planche est placée entre l'objet et les élèves :

Martine : 15 ans, 5^e,

Non, je ne vois pas le cube car il y a une planche de bois devant, qui me cache son apparence. Mais cette fois, il y a de la lumière.

Ce modèle est cependant assez rarement mis en jeu par les élèves : 3 cas sur 166 questionnaires. Historiquement, on peut établir un parallèle entre ce modèle et la conception de DESCARTES.

2)



Dans ce cas, l'élève pense qu'il est nécessaire que l'objet soit éclairé par une source, mais la lumière n'est pas nécessairement diffusée par l'objet.

Malika : 14 ans, 5^e,

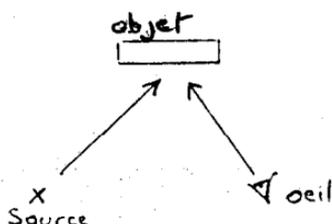
Non, je ne le vois pas, parce qu'il n'y a pas de lumière pour éclairer.

Sabine : 14 ans, 5^e,

Oui, je vois une sorte d'objet, je ne vois pas très bien le cube parce qu'on a arrêté la lumière avec une planche.

Ce modèle est encore plus rarement utilisé par les élèves que le précédent.

3)



Dans ce cas, l'élève met en jeu une « action » de l'œil et une, de la source de lumière. Ce modèle est très souvent mis en jeu par les élèves.

Voici quelques exemples de réponses aux deux questions successives :

Nathalie : 13 ans, 5^e,

- a) Non, car il est privé de lumière. On distingue un peu sa forme.
- b) Non, car il est caché par un objet dont on ne voit pas à travers. Mes yeux sont incapables de le transpercer pour voir le cube.

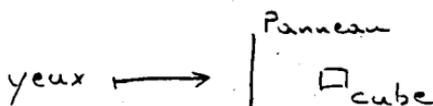
Isabelle : 13 ans, 5^e,

- a) Non, parce que la lumière du projecteur a été cachée et mes pupilles voient du noir.
- b) Non, parce qu'il y a un obstacle entre l'objet et moi, et ma vue ne peut pas traverser l'obstacle.

Vincent : 14 ans, 4^e,

- a) Le cube était éclairé par le projecteur (\Rightarrow lumière) et son ombre reflétait contre le mur. Une fois la lumière cachée, le cube était dans le noir et nous ne pouvions donc pas le voir.
- b) Le cube est éclairé, mais nos yeux n'ont pas pu le voir car de nos yeux jusqu'au cube, un panneau bloquait le passage de la vue.

dessin de Vincent :

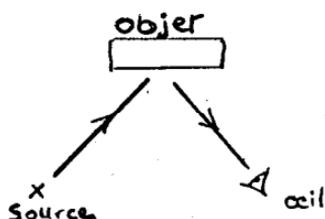


Ce modèle est souvent mis en jeu par les élèves. C'est le modèle le plus fréquent, après le 5^e, que nous verrons plus loin ; entre 20 et 25 questionnaires sur 166. Historiquement, on retrouve ici les QUID issus des yeux.

Citons les propos d'EMPÉDOCLE (440 av. J.-C.) et de PLATON (360 av. J.-C.) :

- « ce que nous disons être telle ou telle couleur ne sera, ni l'objet qui vient vers l'œil, ni l'œil qui est rencontré, mais bien quelque chose qui s'est créé entre eux »...
- « *Le feu qui jaillit de l'intérieur des yeux rencontre et choque celui qui provient des objets extérieurs...* »

4)



C'est l'interprétation correcte.

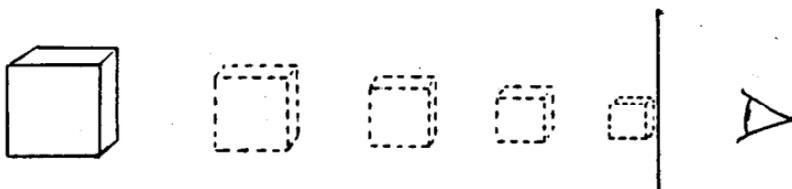
Laurent : 13 ans, 5^e,

- a) Oui, je vois le cube car les stores laissent s'infiltrer de la lumière dans la salle.
 b) Non, car la planche est plus forte que la lumière.

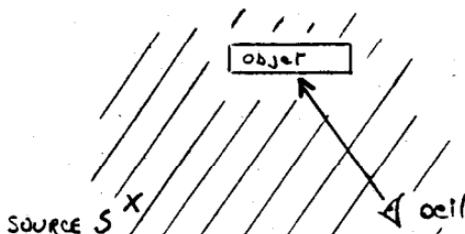
Ce modèle est peu souvent mis en jeu par les élèves ; entre 5 et 10 questionnaires sur 166.

Le parallèle avec l'évolution historique est démontré par Bruno (13 ans, 5^e, qui utilise, sans les nommer, les eidolas antiques :

- a) Oui... un peu de lumière s'infiltré entre les volets.
 b) Non, car devant il y a un cache qui, n'étant pas transparent, empêche de laisser l'image du cube apparaître.



5) Pour ma part, j'ai recensé, en dépouillant les questionnaires de mes élèves, une 5^e interprétation, celle que j'appellerais du « chat de Descartes ».



Isabelle : 13 ans, 5^{ème}

Dans ce cas, il y a nécessité du bain de lumière *et* mise en jeu d'une action de l'œil.

Isabelle : 13 ans, 5^e,

- a) Oui, mais très peu. Je le vois, c'est parce qu'il *reste encore de la lumière* dans la salle, donc on le voit.
- b) Non, car une planche le cache. On ne peut pas *voir à travers*.

Nathalie : 13 ans, 5^e,

- a) Oui, je vois le cube car il y a encore un peu de lumière dans la pièce, mais moins bien qu'en pleine lumière.
- b) Non, car il y a un panneau dans mon *champ de vision*, et je ne peux pas voir à travers.

On constate que pour voir le cube, les élèves ont besoin d'un bain de lumière :

- Il faut de la lumière.
- Il reste encore de la lumière.
- Il y a toujours un peu de lumière.
- Mes yeux ont besoin de lumière.
- Il y a un manque de lumière.
- L'objet est dans la pénombre.

A ce bain de lumière, se superpose une action de l'œil, de la même manière que pour le modèle 3 :

- On ne peut pas *voir à travers* (la planche).
- Panneau dans mon *champ de vision*.
- La planche bouche *la vue*.
- Notre vue ne peut pas traverser les murs...
- Notre regard n'a pas la faculté de traverser...

Cette conception semble la plus répandue chez les élèves de Collège. Je l'ai rencontrée entre 45 et 50 fois sur les 166 questionnaires.

Pourquoi ai-je appelé ce modèle celui du « chat de DESCARTES » ? Dans « la Dioptrique » en 1638, DESCARTES fait de la lumière un *état* dont sont baignés nos yeux, mais dit-il, les chats voient la nuit, il faut donc que chez eux la vision résulte aussi de quelque chose qui part des yeux et se dirige vers les objets.

6) Une sixième catégorie d'élèves est constituée par ceux qui pensent que la lumière n'est pas indispensable dans la vision.

Sandrine : 12 ans, 6^e,

a) Non, parce que c'est un bleu qui ne se voit pas dans le noir.

Stéphanie : 14 ans, 5^e,

a) Oui, parce qu'il est rouge et que le rouge se voit dans le noir.

On constate donc que certains élèves voient (surtout le rouge !), même en l'absence de lumière. Ceci est assez répandu. Je l'ai rencontré entre 10 et 15 fois sur 166.

IV. CONCEPTIONS DES ELEVES SUR LA COULEUR

(avant enseignement)

L'analyse des questionnaires que j'ai dépouillés, m'a amené à distinguer *deux grandes catégories* de conceptions.

A) La couleur existe en tant que telle. Elle se transporte. Je comparerai cette conception, à celle du calorique pour la chaleur, et cette comparaison m'amène, facilement, à appeler cette représentation, celle du « *colorique* ».

Exemples extraits des questionnaires.

Frédéric : 12 ans, 6^e,

— Devant l'expérience de dispersion par le prisme, répond :

« la glace ou la vitre ont des couleurs à l'intérieur, surtout le plexiglas ».

Stéphanie : 14 ans, 5^e,

— Devant la même expérience qu'Agnès, répond :

« bleu, parce qu'il y a le projecteur qui envoie la couleur bleue. »

Interprétation.

— Pour Yannick, Frédéric : Les *coloriques* sont contenues dans le prisme, mais ne sont visibles qu'à la lumière.

— Pour Gwenaël, Cyril : La lumière prend les *coloriques* sur le carton coloré, et les transporte, via le prisme jusqu'à l'écran.

— Pour Agnès, Stéphanie, Julien, Alexandre, Thierry : Le projecteur projette des *coloriques* bleues sur le papier (ce phénomène semble indépendant de la lumière).

— *Pour Annabelle, Sandrine* : Les *coloriques* de couleurs différentes peuvent se mélanger pour donner d'autres coloriques.

Il semble que l'épistémologie historique ne mette pas en évidence ce concept de COLORIQUE, qui est cependant mis en jeu par une proportion non négligeable d'enfants. Il est à noter par ailleurs, que cette représentation n'est pas incompatible avec celles décrites en B) pour un même élève.

B) *La seconde conception* se rapproche plus ou moins du modèle exact. Cette conception regroupe sept types de représentations :

- 1) *La couleur est due* à l'objet.
- 2) *La couleur est due* à la lumière.
- 3) *La couleur est due* à l'œil.
- 4) *La couleur est due* à l'objet et à la lumière.
- 5) *La couleur est due* à l'objet et à l'œil.
- 6) *La couleur est due* à l'objet et à la lumière.
- 7) *La couleur est due* à l'œil, à la lumière, à l'objet.

Le modèle s'approchant le plus de la vérité est le 7^e. Les 6 autres étant seulement des étapes.

IV. CONCLUSION

Cette étude nous a permis de préciser quelles pouvaient être les conceptions des élèves de collège sur la lumière et les phénomènes de couleur.

Ces conceptions dépendent fortement du contexte dans lequel elles sont mises en jeu. Un même élève peut développer diverses conceptions, selon les situations auxquelles il est confronté.

On retiendra principalement la confirmation des quatre modèles « classiques » de la vision et l'introduction du *modèle du « chat de Descartes »*, ainsi que la non-nécessité de la lumière, dans la vision, dans certains cas.

En ce qui concerne la couleur, on retiendra la conception implicite du *colorique*.

A partir de ces constatations, il est plus aisé de proposer des objectifs didactiques, dont certains expérimentaux, permettent aux élèves de faire évoluer leurs conceptions.

BIBLIOGRAPHIE

-
- Bernad MAITTE. — *La lumière*. Coll. Point Sciences. Seuil.
 - Maurice DERIBÈRE. — *La couleur*. Que sais-je ?
 - Vasco RONCHI. — *Histoire de la lumière*. Libr. A. Colin.
 - Michel BLAY. — *L'arc-en-ciel de Aristote à Newton*. In revue du Palais de la Découverte n° 13.
 - GUESNE. — *Les conceptions des enfants sur la lumière*. In New Trends in Physics Teaching, vol. IV, p. 179-192.
 - TIBERGHIEU. — *Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens de la notion de lumière chez les élèves de 10 à 16 ans*, in recherche en didactique de la physique : *Les actes du premier atelier international*, La Londe, 1983.
 - GUESNE, TIBERGHIEU, DELACÔTE. — *Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique : chaleur et lumière*. L.I.R.E.S.P.T. - Université Paris CII - in Revue Française de Pédagogie n° 45.
-